Prova sperimentale della produzione di 4He in un esperimento di fusione fredda

Nel marzo del 1989 M. Fleischmann e S. Pons riferirono che un considerevole **eccesso di entalpia**, accompagnato da una piccolissima quantità di radioattività, era stato rilevato in celle elettrolitiche con catodi di Palladio (Pd) durante l'elettrolisi di D2O, a condizione che il rapporto stechiometrico x = [D] / [Pd] di Deuterio in Pd aveva raggiunto una soglia critica. Questo annuncio ha suscitato molte polemiche che hanno condotto molte riviste affermate a trascurare del tutto l'argomento.

Il punto principale in questione era che gli eccessi pretesi di entalpia erano coerenti solo con un processo nucleare **(fusione di Deuteroni)** e che tale processo a temperatura ambiente e senza emissione di un numero commisurato di neutroni era considerato incoerente con la moderna fisica nucleare. Una possibile comprensione teorica del fenomeno segnalato è stata proposta da Bressani, Del Giudice e Preparata, proprio all'indomani dell'annuncio di Fleischmann-Pons.

Ci riferiamo all'Appendice A per una discussione più dettagliata di un tale modello. Secondo questo modello, 4He dovrebbe essere il prodotto finale di questa forma di fusione nucleare appena scoperta.

Negli anni seguenti sono state pubblicate molte segnalazioni di eccesso di calore ed elio, ma finora non è stato pubblicato alcun esperimento convincente, nel quale il carico x, il calore in eccesso e la produzione di elio sono simultaneamente misurati in funzione di intervalli di tempo brevi (inferiori a 1 ora). Un programma sperimentale volto a sondare le conseguenze fenomenologiche della proposta teorica di cui sopra è stato lanciato presso l'ENEA. Il programma mira alla dimostrazione sperimentale che:

i) un potenziale elettrico applicato lungo un catodo unidimensionale (un filo o una striscia depositata) è in grado di deprimere il potenziale chimico di D in Pd (per x> 0,7) e aumentare la velocità di caricamento (effetto Preparata) ;

ii) quando x diventa maggiore di 1, viene generato calore in eccesso;

iii) 4È generato simultaneamente, commisurato al livello dell'entalpia in eccesso. L'implementazione di questo programma è durata un certo numero di anni e ha richiesto di risolvere molti problemi tecnologici. Nel presente documento riportiamo una prima serie di risultati sperimentali.

2) IL SETUP SPERIMENTALE

Un diagramma a blocchi semplificato del nostro lay-out consiste fondamentalmente di una piccola cella elettrolitica (8,5 cm3) i cui elettrodi, tenuti a 5 mm di distanza, sono un anodo realizzato di un foglio di platino e un catodo fatto di una striscia di Pd spruzzata su una superficie inerte, avvolta nella cosiddetta geometria "bustrofedica". La striscia è generalmente lunga 100 cm, larga 50 μm e spessa 2 μm e, quando è vuota, ha una resistenza elettrica R0 di circa 3 KΩ a temperatura ambiente. La cella viene riempita con 5,5 ml di soluzione LiOD 10-4 M, con una conduttività di 104 ± 1 μS / cm. La produzione di strisce stabili ha richiesto notevoli sforzi.

Durante l'assorbimento di D, il parametro reticolo aumenta fino al 10% della sua lunghezza, inducendo grandi sollecitazioni nel campione. Scelte idonee del substrato, dei parametri dello sputtering e della tecnica di incisione (utilizzata per modellare il film) sono state necessarie per ottenere catodi molto robusti, in grado di sopravvivere a diversi cicli di carico / scarico a temperatura ambiente.

La quantità di carico D è stimata misurando il rapporto delle resistenze elettriche R / R0 (dove R0 è la resistenza della matrice di palladio vuota) che è correlata al caricamento attraverso una relazione ben nota, verificata per un campione caricato omogeneamente. Le differenze tra il valore massimo misurato di R / R0 e il valore riportato in letteratura sono probabilmente dovute a una concentrazione di deuterio non omogenea lungo il campione.

Il substrato del catodo a film sottile è mantenuto in un buon contatto termico con un elemento Peltier commerciale. Durante una calibrazione abbiamo ottenuto una relazione lineare tra la potenza dissipata nella cella e la tensione visualizzata attraverso i contatti dell'elemento Peltier. Il calore dissipato nella cella produce un aumento della temperatura sia dell'elettrolita che degli elettrodi: il fattore di proporzionalità tra la potenza dissipata e l'aumento di temperatura (tensione) è di 17,3 ± 0,3 mW / mV.

La miscela di gas che fluisce dalla cella contiene principalmente O_2 e D_2 con una quantità molto piccola di ^4He. In tali condizioni, la separazione del picco dell'elio mediante spettrometria di massa non è facile, poiché i valori e / m di D_2 e ^4He sono molto vicini l'uno all'altro. Al fine di ridurre un segnale di fondo così grande abbiamo introdotto all'uscita della cella una pompa getter non evaporabile (NEG), al fine di rimuovere in misura elevata tutti i componenti non inerti della miscela di gas (in particolare isotopi di idrogeno).

Ovviamente, tutti i gas inerti sono preservati. Abbiamo trovato necessario evitare l'uso di pompe di criosorbimento, dal momento che sono state trovate per intrappolare Elio irregolarmente nella condensa. Durante la misurazione, il gas viene periodicamente campionato, senza influenza sul processo elettrolitico.

Secondo la pratica raccomandata, l'analizzatore di massa quadrupolare ad alta risoluzione (QM 11 è stato accuratamente calibrato con N2, Ar, 4He e D2 puri. Le calibrazioni 4He e Ar specifiche sono state eseguite staticamente (metodo "pseudo-statico"), introducendo quantità note di gas nell'analizzatore La pressione all'interno della camera di analisi è stata monitorata dallo stesso calibro di ioni utilizzato per le calibrazioni dinamiche, al fine di confrontare i risultati.I due metodi mostrano un ottimo accordo.

Come già sottolineato, le pompe getter assicurano che praticamente tutto il deuterio inizialmente presente nella miscela gassosa venga rimosso. L'assenza di un picco dominante del Deuterio, che è comunque ben risolto dallo spettrometro di massa, migliora considerevolmente la sensibilità massima a 4He. Sono stati eseguiti controlli con miscele 4He -D2 (circa il 67% - 33% e 50%). Le pressioni parziali delle due componenti sono state calcolate dividendo le intensità dei due picchi (dopo la sottrazione dei contributi incrociati) per la corrispondente sensibilità per i gas puri e tenendo conto della sensibilità relativa del calibro di ioni catodo caldo (una conversione fattore 6 per 4HE e 2.6 per D2).

Le concentrazioni misurate sono in buon accordo con le composizioni nominali. La configurazione sperimentale è stata ampiamente calibrata negli ultimi due anni. La struttura fornisce misure affidabili e precise del contenuto di componenti inerti in qualsiasi miscela di gas. La figura 4 è un tipico spettro residuo di un campione d'aria. Tutti i componenti non inerti sono stati rimossi efficacemente in poche decine di secondi. Una miscela con una composizione nota (82% ^4He - 13,5% N_2 - 4,5% CO_2) è stata utilizzata per test quantitativi. Campioni della miscela sono stati introdotti a diverse pressioni nell'analizzatore, secondo il metodo pseudo-statico.

La concentrazione di 4He nei campioni di miscela è stata misurata a 86,5 ± 0,6%, in ragionevole accordo con il valore nominale, tenendo conto che la procedura utilizzata per riempire il volume del campione, attraverso una valvola di dosaggio e un tubo capillare, inevitabilmente dà origine a un certo arricchimento di elio della miscela a valle. L'adattamento lineare dei dati sperimentali (figura 5) mostra l'altissima precisione della misurazione.

È stato anche rilevato un "effetto memoria". Quando l'elio puro o il campione di miscela sopra menzionato sono ammessi all'analizzatore, la corrente ionica alla massa 4 sale improvvisamente come previsto a un valore rigorosamente costante. Un comportamento diverso è invece osservato con campioni di aria. Dopo il passo iniziale, la corrente ionica alla massa 4 inizia lentamente ad aumentare nel tempo. Un simile effetto non è mostrato dal segnale Argon. Questo effetto si riduce in modo significativo subito dopo la cottura della camera QMA ultra alto vuoto (UHV); poi appare di nuovo e diventa sempre più evidente (fig. 6) mentre gli esperimenti procedono. Questo fatto ovviamente suggerisce che 4He sia in qualche misura adsorbito sulle pareti della camera di analisi e successivamente rilasciato.

Abbiamo sospettato che la co-presenza di una quantità molto più grande di Argon, durante i test aerei, sia responsabile di questo effetto, a causa del bombardamento delle pareti da parte degli atomi di Argon. Abbiamo verificato questa ipotesi, iniettando quantità crescenti di Argon nella camera, in condizioni di vuoto statico pseudo. I risultati sono riportati di nuovo in Fig. 6. È abbastanza evidente che la velocità di degassamento aumenta linearmente con la pressione Ar. Il verificarsi di questo fenomeno può influenzare in qualche modo i risultati dell'analisi e deve essere tenuto in considerazione, per non sovrastimare il contenuto di elio.

Può essere notevolmente ridotto cuocendo regolarmente la camera UHV. La cella elettrochimica è collegata all'analizzatore attraverso un circuito di memorizzazione, appositamente progettato per consentire l'analisi in linea dei gas in evoluzione. L'intero circuito è stato costruito utilizzando componenti UHV. Si presta attenzione per evitare ogni possibile contaminazione da elio. Prima di iniziare una corsa sperimentale, sia la cella che il circuito vengono prima evacuati e testati contro le perdite, quindi eliminati e infine tamponati con azoto di elevata purezza N70 (99,9999%).

La cella viene quindi riempita con l'elettrolita prendendo tutte le precauzioni al fine di evitare la contaminazione dell'aria. Inoltre, la cella è racchiusa all'interno di un recipiente di contenimento UHV, che viene sottoposto alla stessa procedura di test iniziale e di spurgo e viene infine riempito con azoto N70 a circa 1050 mbar per impedire la permeazione di elio dall'ambiente circostante. È stato trovato che il tamponamento della cella e del circuito di campionamento è necessario per impedire la fuoriuscita dell'elettrolito liquido durante l'esperimento. Du 14 contenuto di 4He nell'azoto di elevata purezza è impostato su circa 1012 atomi.

Un campione del tampone di azoto N70, tuttavia, viene analizzato alla fine della procedura di spurgo preliminare (poco prima di iniziare l'elettrolisi) per impostare lo zero di ciascuna corsa sperimentale. Tutte le operazioni, dallo spurgo iniziale al disegno e all'analisi del campione, vengono eseguite con una sequenza automatica, al fine di garantire una perfetta riproducibilità dell'intero processo. I parametri rilevanti sono registrati su un PC.

I gas che si evolvono durante l'esperimento vengono raccolti nel volume di stoccaggio, che viene tenuto a una pressione costante (1050 ± 2 mbar). Un'aliquota del 6,29% di questo gas (volume del campione di Fig. 1) viene periodicamente inviata alla pompa NEG e quindi al QMA da analizzare. Questa procedura fornisce una misura precisa del numero di 4 atomi di He contenuti nella miscela di gas. Poiché a ciascun campionamento vengono estratte quantità uguali di gas, è molto facile confrontare, di volta in volta, i risultati dell'analisi. L'incremento del numero di 4 atomi di He divisi per il tempo trascorso tra due analisi successive ci dà una stima del rendimento di elio e quindi del potere in eccesso.

3) RISULTATI

Di molte misurazioni, riportiamo qui i risultati preliminari ottenuti nell'ultima campagna sperimentale. I risultati della precedente campagna sono stati analizzati e sono in buon accordo qualitativo con i risultati riportati qui.

1) Fase di precarico.

Una debole corrente elettrolitica, circa 5 mA, viene fatta scorrere attraverso la cella. In un tempo di circa un'ora, R / R0 raggiunge senza problemi il valore di picco di 2 corrispondente, secondo la Figura 4a, al valore x = 0,7 (fase beta). Questo stato è una fase di equilibrio e può essere continuato indefinitamente. Durante questa fase la potenza di uscita Pout coincide con il pin di alimentazione fornito dalla corrente elettrolitica e il numero di 4 atomi di He è compatibile con il valore di fondo del rivelatore. In questo momento il fenomeno della fusione fredda è assente e queste misurazioni escludono l'esistenza di errori sistematici o di artefatti.

2) Fase di caricamento.
A questo punto applichiamo una tensione Vc lungo il catodo. Questa tensione viene applicata aumentando proporzionalmente la corrente della cella a un valore compreso tra 10 e 40 mA (corrispondente a una densità di corrente compresa tra 20 e 80 mA / cm2). Quando il catodo è una piastra, tali densità di corrente non sono in grado di aumentare significativamente il valore di x, almeno in un tempo di alcune ore.

Quando, al contrario, il catodo è una striscia stretta e sottile, come nel nostro caso, R R0 cade in un tempo molto breve (alcuni minuti) da 2 a circa 1,4. Per verificare che in effetti siamo oltre il massimo di Fig. 7, spegniamo per un breve periodo la corrente, producendo un piccolo, temporaneo scarico del catodo del temporaneo, con un aumento osservato di R R0 (piuttosto che una diminuzione). Il valore R R0 = 1,4 corrisponde a x ≈1.

3) Fase supercritica.

Nell'attraversare questa soglia, "anomalie" appaiono nel sistema, cioè:

i. Una deviazione significativa di 4 He dalla linea di base è osservata dal primo intervallo di tempo di 40 minuti in poi. Il contenuto di 4 He continua a crescere, purché il sistema sia nella fase supercritica.
ii. ii. La temperatura del catodo, misurata dall'elemento Peltier, aumenta al di sopra del precedente valore di equilibrio, segnalando una fonte di entalpia nella cella. Le due anomalie di cui sopra, entro i rispettivi tempi di risposta tipici (40 minuti per 4 He e circa 300 secondi per il sistema Peltier) si verificano simultaneamente.

Dalla quantità di elio, sotto l'assunzione della conversione 2D → 4He + 23,8 MeV, si può stimare la potenza prodotta. Scopriamo che tale potenza PHe generalmente supera la potenza Pc valutata in modo superficiale dal sistema Peltier. Questo punto sarà meglio chiarito più avanti.

4) Fase di controllo.
Dopo alcune ore di funzionamento della cella, il potenziale del catodo Vc viene disattivato: entrambe le anomalie i) e ii) scompaiono, cioè PHe e Pc tornano al valore zero iniziale. Subito dopo lo swith-off, il caricamento x scende sotto la soglia e il PC cade a zero entro la costante di tempo del trasduttore Peltier. Dopo 12 ore, un controllo dei 4 contenuti contenuti nel volume di archiviazione indica che non si sono verificati ulteriori cambiamenti, ad eccezione di perdite o permeazioni.

Descriviamo ora separatamente tre casi sperimentali: Caso 1 - Fig. 9. In questa esecuzione $P_c \approx 19$ mW e $P_{He} \approx 240$ mW. Questa enorme discrepanza ($P_H \approx 12.3\ P_c$) suggerisce che gran parte del calore è stato perso dall'elemento Peltier. Caso 2 - In questi esperimenti non siamo stati in grado di raggiungere un carico superiore a $x = 1$, quindi abbiamo ottenuto solo valori bassi della potenza in eccesso (compresi tra 5 e 10 mW). In questo caso $P_{He} \approx P_c$, con poca o nessuna discrepanza. Caso 3 - Fig. 10. Mentre nella fase supercritica, con una lettura Peltier di $P_c \approx 20$ mW, il catodo si sciolse improvvisamente.

I parametri elettrici (corrente e tensione) misurati durante questa corsa non hanno tenuto conto di una causa elettrica della fusione; inoltre, come si vede nella figura 10, il danno esteso in molte sottosezioni separate rende improbabile l'ipotesi di una fusione dovuta all'effetto Joule. La fusione si è verificata dove il potenziale Vc era più negativo e quindi, secondo l'effetto Preparata (vedi Appendice A), il catodo è il più caricato. La sezione fusa rappresentava il 5% del volume totale. L'incidente del catodo "fuso" fornisce la prova che ad alta temperatura la maggior parte dell'energia in eccesso sfugge al calorimetro termico come suggerito sopra.

La misurazione del PHe è una misura di gran lunga più affidabile della potenza prodotta nella fase supercritica, mentre l'elemento Peltier fornisce solo un'indicazione qualitativa dell'entalpia in eccesso, come discusso nell'Appendice A. Il Caso 3 dimostra che le temperature enormi sono state prodotto da qualche parte nella striscia, il punto di fusione del Pd è di ben 1828 K. A tali temperature, il canale dominante di dissipazione del calore è la radiazione di Stefan-Boltzmann, che è ovviamente solo scarsamente registrata dal semplice dispositivo Peltier. La fusione interessa circa il 5% della striscia, per cui la potenza irradiata sarà pari a 3,15 W! Questa descrizione è ulteriormente confermata dalle altre misurazioni.

Nel caso 2 - a potenza molto bassa (10 mW) misurata dalla resa dell'elio e quindi a temperature di picco minime - c'è un buon accordo PH ≈ Pc mentre, nel caso 1, a una potenza maggiore (240 mW) e quindi a molto temperature di picco più elevate, la discrepanza è evidente. Pertanto questa discrepanza aumenta con il livello di potenza prodotto ed è ben compresa dalle condizioni termiche di non equilibrio nelle immediate vicinanze della striscia e dalla conseguente perdita di una parte importante del calore prodotto per irraggiamento. L'enorme differenza nei rendimenti di fusione fredda in questi tre casi, suggerisce che si tratta di una funzione a variazione rapida di x al di sopra della soglia.

Un controllo definitivo di questa fenomenologia verrà eseguito nel prossimo futuro osservando direttamente la radiazione emessa dalla banda supercritica, ad esempio con l'aiuto di una telecamera a infrarossi (IR).

4) CONCLUSIONI

Gli esperimenti condotti finora suggeriscono le seguenti conclusioni: i) L'effetto Preparata è stato validato sperimentalmente oltre ogni dubbio: in ogni esperimento siamo stati in grado di produrre i risultati illustrati. Questi risultati forniscono simultaneamente una prova che i deuteroni sono in uno stato coerente, b) un metodo molto efficace per caricare catodi monodimensionali.

ii) La produzione di calore eccedente e di elio segnalati si verificano al di sopra di una soglia critica di concentrazione di D in Pd. La soglia osservata è compatibile con il valore x = 1 previsto dalla teoria. iii) La presenza di 4He dimostra che un processo nucleare si è verificato nella cellula; una reazione nucleare è stata ottenuta con procedure puramente chimiche. PHe osservato nel caso 1 è compatibile con i valori di calore in eccesso riportati da Fleischmann [9] e da Preparata [10], con una calorimetria "isoperibolica" altamente affidabile.

Nella fase successiva degli esperimenti cercheremo di migliorare la calorimetria termica con l'aiuto di una telecamera IR, in grado di rilevare la temperatura locale dei punti caldi del catodo. Inoltre cercheremo possibili nuove specie nucleari prodotte dal campo EM ad altissima frequenza associato a processi nucleari coerenti dopo la trasmutazione 2D → 4He. Vi è un'indicazione preliminare che i nuclei Ni possono essere presenti nei catodi, successivamente alla fusione a freddo.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo Carlo Rubbia il cui contributo è stato fondamentale per il raggiungimento di questi risultati. Ringraziamo anche Martin Fleischmann, Giuliano Mengoli e Getullio Talpo per il loro incoraggiamento e le molte discussioni fruttuose su elettrochimica e QED. Siamo grati a Francesco Scaramuzzi che ha avviato la ricerca Cold Fusion presso l'ENEA. Ringraziamenti al Sig. Fabrizio Marini e alla Sig.ra Miriam Veschetti per il prezioso aiuto tecnico durante la preparazione e la conduzione degli esperimenti.